

颗粒度对 Mn-Zn 铁氧体吸波性能的影响*

北京航空航天大学 甘永学 陈昌麒 李成功

本文对含 5 种粒度的烧结 Mn-Zn 铁氧体填充环氧树脂基复合材料的微波吸收特性进行了研究。结果表明:其中 4 种粒度的铁氧体的复合材料具有相似的微波衰减特征、而含—80~120 目的铁氧体试样对微波衰减作用较强、吸收峰相对较宽,且向高频方向移动。

Effect of Particle Size on the Microwave Attenuation Property of Mn-Zn Ferrite

Gan Yongxue Chen Changqi Li Chenggong
(Beijing University of Aeronautics and Astronautics)

In this paper, the microwave attenuation property of composite materials containing Mn-Zn ferrite with different particle sizes has been studied. It has been found that four particle sizes of Mn-Zn ferrite embodied epoxy composite materials have similar microwave absorbing characteristics. While the —80~120 mesh Mn-Zn ferrite particle embodied composite has a higher and wider absorbing peak. The central frequency of the peak shifts into high frequency direction.

一、引言

Mn-Zn 铁氧体的主要特点是对 10GHz 或更高频率的电磁波有良好的衰减吸收性能^[1],因此,进一步研究 Mn-Zn 铁氧体的吸波性能,对于探索吸收带位于比 X 波段频率更高的频段内的吸波剂有较大的意义。

按某一设计的工艺所制备的铁氧体,虽然结构相同,然而,铁氧体呈粉末状明显优于整块烧结体的吸波性能^[2],这表明:所制成的材料的吸波性能,可能依赖于所填充的铁氧体的尺寸,选择何种粒度的铁氧体作为吸波填充剂对于制备高性能的吸波材料至关重要,于是,对 5 种粒度的 Mn-Zn 铁氧体进行了对比研究。

二、实验方法

1. Mn-Zn 铁氧体的制备过程

将分析纯的 Fe_2O_3 过 400 目标标准筛,化学纯的 ZnO 和 MnO_2 过 300 目标标准筛,按摩尔比: $\text{Fe}_2\text{O}_3 : \text{MnO}_2 : \text{ZnO} = 72 : 15 : 13$ 配料,球磨混料后,在 150MPa 压力下冷压成型。把压制的生坯放在二硅化钼高温炉中于 1500℃ 温度下烧结 4h,随炉冷却,得到烧结铁氧体。用排水法测得铁氧体的密度为 4.65g/cm³。用机械方法将铁氧体粉碎,并作筛分级。

2. 铁氧体的相成分分析

取—300 目的铁氧体粉,在 BD-78 X 射线衍射仪上作粉末衍射实验,衍射扫描角 2θ 范围: $30^\circ \sim 90^\circ$,扫描

速度 4,000°/min, $\lambda = 1.9360 \text{ \AA}$ 。

3. 吸波性能测试试样制备

把经筛分的 5 种粒度—80~+120 目、—120~+200 目、—200~+300 目、—300~+400 目、—400 目的铁氧体粉末与环氧树脂充分地混合均匀(树脂与铁氧体粉按体积比=30:70 配料),然后在模具内预压成型,将预压成型的铁氧体环氧树脂基混合体在热压炉中保压固化。固化条件是:压力 1MPa、温度 150~155℃(采用二氰二胺固化剂),保温时间 5h,保压冷却至室温,加工成 55mm×55mm×1.5mm 的试样。

4. 吸波性能测试

把加工的试样粘在金属紫铜片基体上,在 HP8410C 微波网络分析仪上作扫频测试,频率范围:11.0GHz~18.0GHz。

三、实验结果

1. 铁氧体的相成分

图 1 给出了所制备的铁氧体的相组成,主要含有 MnFe_2O_4 , Fe_2O_3 , Fe_3O_4 等相。

图 2 是 5 种不同粒度的铁氧体微波吸收试样的扫频特性。粒度为—80~+120 目铁氧体的微波吸收峰较高,而且峰中心频率向高频方向移动约 2.5GHz,其他 4 种粒度的铁氧体则具有相近的衰减特征。

四、分析与讨论

铁氧体对微波的吸收效率不仅随入射波的频率,且

*国家自然科学基金资助项目号 59103023

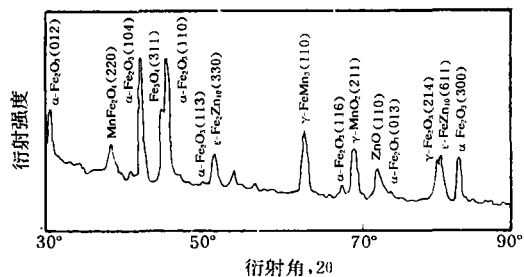


图1 Mn-Zn 铁氧体的 X-射线衍射分析结果

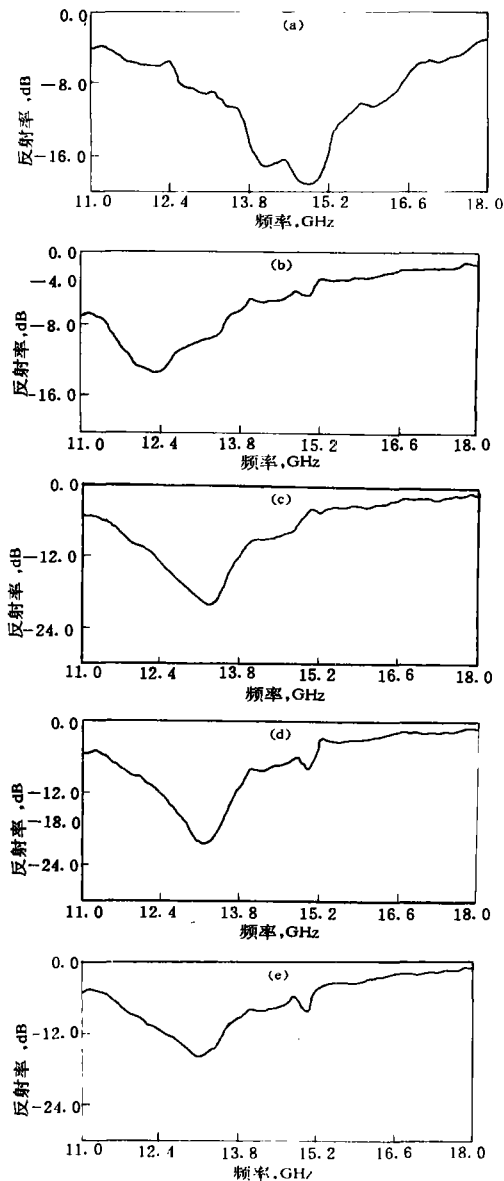


图2 几种不同粒度铁氧体的吸波特性对比

(a) -80~+120 目; (b) -120~+200 目;
(c) -200~+300 目; (d) -300~400 目; (e) -400 目

随铁氧体粒径的变化而变化, 具有某一给定尺寸的铁氧体能够吸收特定频段的电磁波。从 Ken Ishino 等对具有不同尺寸的 Ni-Zn-Co 铁氧体的研究得到证实, 对 Mn-Zn 系铁氧体的研究结果显示与 Ni-Zn-Co 系铁氧体类似, 其

吸波特性同样存在颗粒尺寸效应^[2]。本文对 1500℃ 温度下烧结的 Mn-Zn 铁氧体的研究表明: 粒度为 -120 目以下的铁氧体颗粒具有相同的吸收特性, 不象文献 [2] 所报导的吸波特性随粒子尺寸变化而显著变化的效应, 但对于尺寸更大的铁氧体 (-80~+120 目) 则吸波特性有所变化, 一方面对微波的衰减提高; 另一方面出现吸收频带向高频段移动。这可从 Mn-Zn 铁氧体的结构以及对微波的吸收机制来解释这一现象。

在外界交变电磁场的作用下, Mn-Zn 铁氧体会出现交叉磁化现象, 导致磁损耗并产生共振吸收峰。一般共振吸收峰的大小及位置随粒度的变化是不大的, 因而 -120 目以下的 4 种粒度的铁氧体具有相似的吸波特征。对于 -80~+120 目的 Mn-Zn 铁氧体, 实际上同样存在一个位于 13GHz 处的共振吸收峰。

从结构分析可知: Mn-Zn 铁氧体中存在部分 Fe_3O_4 相, 过剩的 Fe^{2+} 存在会引起 $\text{Fe}^{3+} \rightleftharpoons \text{Fe}^{2+}$ 的电子交换效应, 并能形成涡流损耗, 这是 Mn-Zn 铁氧体对微波产生吸收的另一个主要原因。随着铁氧体粒径的增大, 在铁氧体颗粒内形成较大的、连续的涡流区, 使损耗作用加强, 当尺寸大到一定值时, 这种效果更加明显, 这可能是造成 -80~+120 目颗粒度的铁氧体具有更好的吸收特性的原因。而且, 铁氧体的尺寸增加时, 颗粒间界面减少, 与树脂间的非导电界面面积也减小, 整个材料的电导率 σ 必然上升, 复数介电常数的虚部 ϵ_2 随之增大, 电磁波在该铁氧体吸波材料中的传播波长缩短 ($\lambda = \lambda_0 / \sqrt{|\mu\epsilon|}$, λ_0 — 自由空间中电磁波的波长; μ — 复数磁导率; ϵ — 复数介电常数), 相同的试样厚度所对应的 $\frac{\lambda}{4}$ 强损耗位置向波长缩短的方向移动, 这与实验所测得的 -80~+120 目铁氧体的吸收峰中心频率向高频方向移动现象是一致的。

五、结 论

1. -80~+120 目、-120~+200 目、-200~+300 目、-300~+400 目、-400 目等 5 种粒度的 Mn-Zn 铁氧体中, 后 4 种具有相似的微波衰减特性, 前 1 种颗粒尺寸较大, 具有较好的微波衰减特性, 吸收峰比后 4 种高, 吸收峰中心频率向高频段方向移动。

2. 颗粒尺寸较大的铁氧体的微波衰减特性较好的原因与连续的、较大面积的涡流损耗区存在有关; 其电导上升引起介电常数的虚部 ϵ_2 增加, 导致微波吸收峰向高频段移动。

参考文献

1. H. Yamashita, Radio-Wave Absorptive Gasket U. S. Patent, 4, 731, 286 Mar. 15, 1988
2. K. Ishino, Microwave Absorber U. S. Patent, 4, 003, 840 Jan. 18, 1977